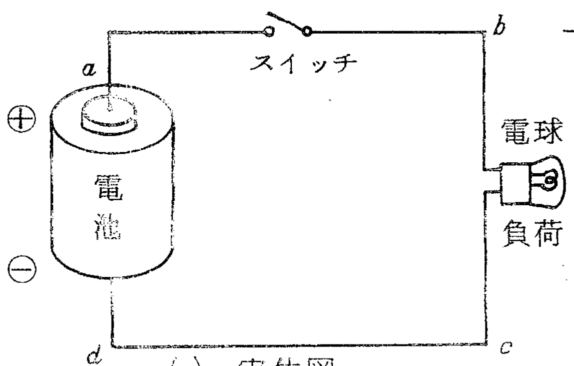
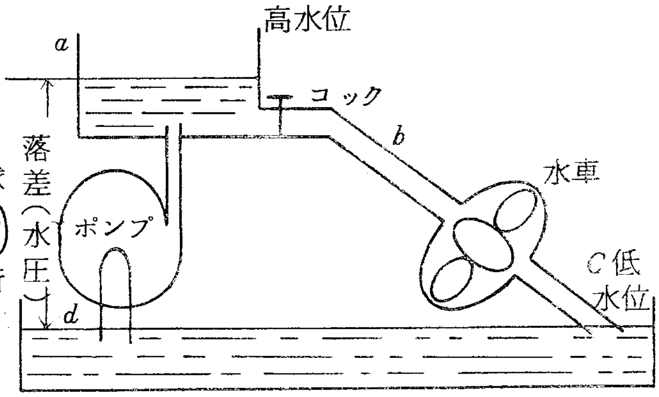
# 1. 電流と電気回路

## 1.1. 電圧と電流

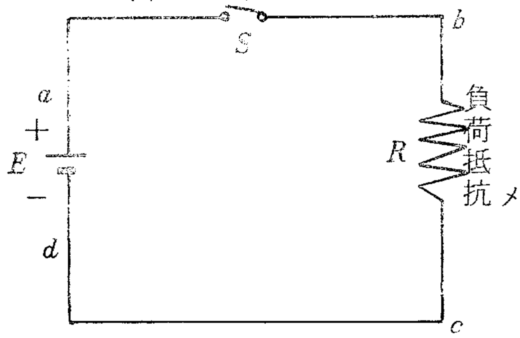
図1－1（a）のように豆電球と，乾電池とをつなぐと，陽極⊕から陰極⊖へ向う電流を生じ，電球が点灯する。この一巡した電流の通路を電気回路（略して単に回路）という。そして，電球からみて電池側を電源，電源から電球側を負荷と呼ぶ。



(a) 実体図



(c) 水 流



(b) 回路図

図1－1 アナロジー（電気と水）

上図のアナロジーにより電圧，電流のイメージを養おう。

電圧（電池）⟷ 水圧（ポンプ）
電流 ⟷ 水流

水を流し水車を回すのは水圧であるように，電流を流し電球を点灯させるいわば電気的圧力を電圧と呼ぶ。その量はVで表わし，単位にはボルト（V）を用いる。また電池のような電流を流す電気的な原動力を起電力といい，その量はEで表わし，単位には電圧と同じく（V）を用いる。

電流はIで表わし，その大きさの単位はアンペア（A）を用いる。

## 1.2. 電圧計と電流計の接続

直流回路には直流用の計器を用い，極性（⊕，⊖）に注意して図1－2のように接続する。すなわち，電流計は負荷電流の流れているところの線（電流回

路と呼ぶことにする。図では太線で示す）を切断して，負荷電流が直接計器の中を通るように，また電圧計は測定しようとする2点間にまたがるように接続する　（この回路を電圧回路と呼ぶ。図では細線で示す）。そのため電流計の中の抵抗（内部抵抗）は回路に流れる電流を妨げないように，出来るだけ小さく，電圧計は電圧に比例して計器が動作するだけの小さな電流，すなわち，回路の電流を分流させて回路に影響をおよぼすことがない程度の電流のみを流せばよいから，内部抵抗は出来るだけ大きいものがよい。

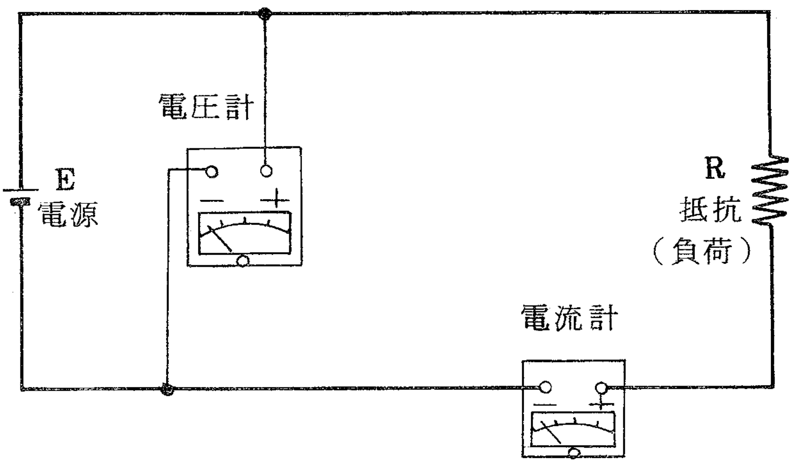



図 1 − 2

図 1 − 3は電流計，電圧計の一例である。

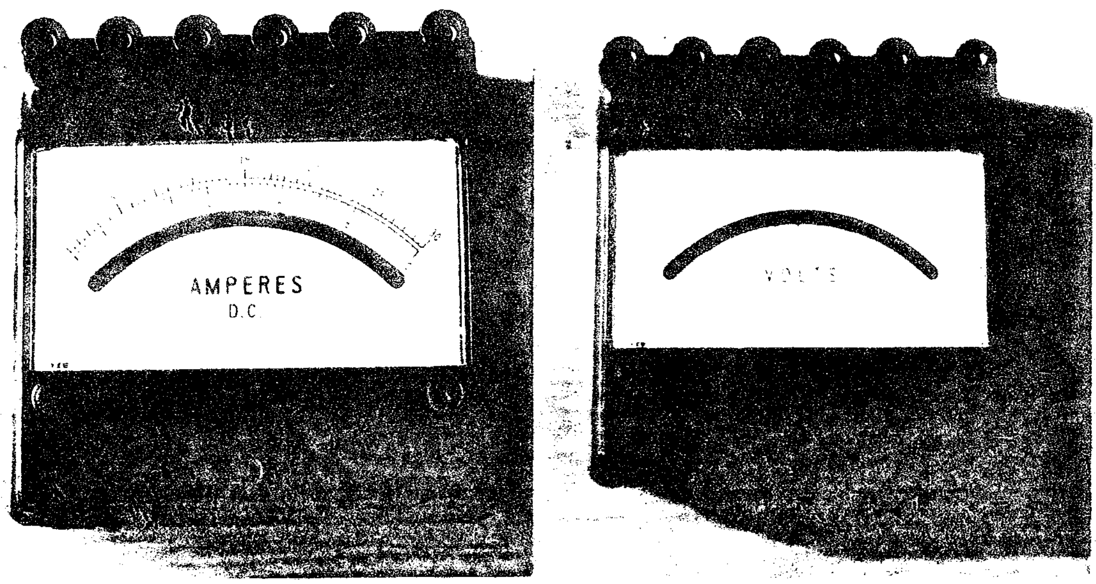



図 1 − 3

## 1.3. 抵抗とオームの法則

図1－4において，抵抗Rをを一定にしておいて，電源電圧Eを変化させてみる。電圧が2倍，3倍，……となると，電流もそれに比例して，2倍，3倍，……となる。

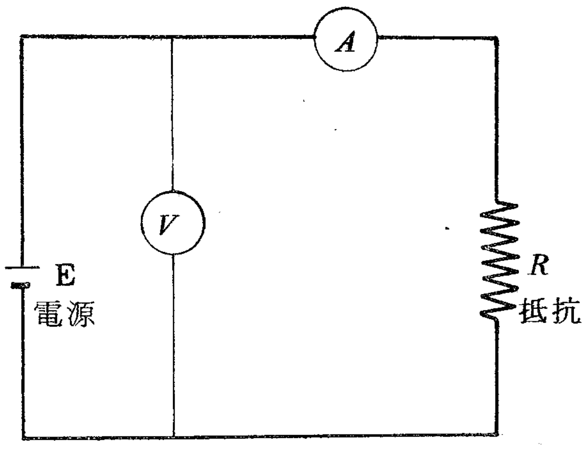



図 1－4

また，電圧を一定にしておいて，抵抗Rを変化させてみる。抵抗が2倍，3倍，……となると，電流はそれに反比例して$\frac{1}{2}$，$\frac{1}{3}$，……となる。

オーム（G. Ohm）は1827年に次の電圧と電流との関係法則を発見した。

『ある端子間に流れる電流は　その端子電圧に比例する。』

これをオームの法則といい，これを数式で表わすと

$$I = \frac{E}{R} \qquad (1-1)$$

である。Rは今考えている回路に特有な比例定数であって，これを電気抵抗または単に抵抗と呼ぶ。上式でIを〔A〕，Eを〔V〕としたときRはオームという単位で与えられ，〔Ω〕で表わす。

また上式は，次のように変形して使用することがある。

$$E = RI \quad あるいは \quad R = \frac{E}{I} \qquad (1-2)$$

オームの法則を別の方向から考えれば，抵抗Rに電流Iが流れるときは，抵抗の端子間にRIなる逆起電力が生ずる、ということも出来る。逆起電力は電流を阻止するように働くのであるから，Rの両端に起電力が働けば，この起電力と逆起電力とが平衡状態になるように電流が流れる。

〔問1－1〕抵抗20Ωに100Vの電圧を加えると電流は何A流れるか。

〔問1－2〕電熱線に15Vの電圧を加えたとき3Aの電流が流れた。電熱線の抵抗〔Ω〕は。

〔問1－3〕40Ωの抵抗に2.5Aを流すに必要な電圧（V）は。

〔問１－４〕抵抗３Ωに流れる電流が５Ａのとき，抵抗両端の電圧は何Ｖか。

## 1.4. キルヒホッフの法則

いくつかの抵抗といくつかの起電力とをつなぎ合せてできる複雑な回路を解くには，オームの法則では無理である。そこでこの複雑な回路での電圧，電流分布がどのようになるかを決定するのに，最も一般的に用いられる法則がこのキルヒホッフの法則で，次の２つの法則よりなっている。

第１法則　『回路の接続点では，その点に流れ込む電流の和と流れ出る電流の和は相等しい。』

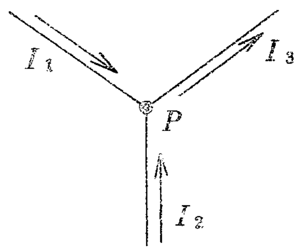



図　１－３

各枝路の電流の正方向を矢印のように定めると，Ｐ点において

$$I_1 + I_2 = I_3 \qquad (1-3)$$

この法則は点Ｐでは，電流は蓄積も消滅もしないことから理解できよう。

第２法則　『一閉回路での起電力の和と，電流と抵抗との積の和は相等しい。』

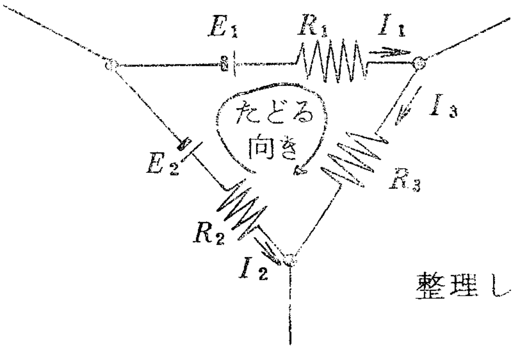



図　１－４

図１－４の矢印の方向に回路をたどったとき

$$E_1 + (-E_2) = I_1R_1 + I_3R_3 + (-I_2R_2)$$

（起電力の和）　　（電流と抵抗との積の和）

$$(1-4)$$

整理して，

$$E_1 - E_2 = I_1R_1 + I_3R_3 - I_2R_2 \qquad (1-5)$$

となる。ただし，Ｅ，Ｉ等の向きが閉路をたどる向きと同一向きにあるときは正にとり，反対向きのときは負にとる。

この法則は起電力と，電流と抵抗の積である逆起電力とが平衡するとする考え方から理解できよう。

〔例１－１〕 図１－５で矢印の向きの電流 $I$ の大きさ，および $AB$，$BC$ 間の電圧を求めよ。

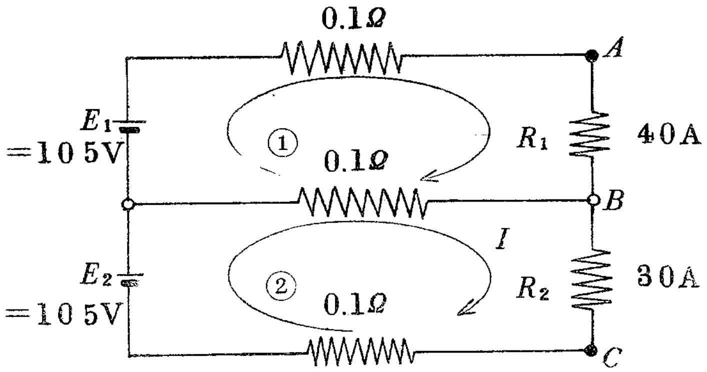



図 1－5

〔解〕 $B$ 点にキルヒホッフの第１法則を適用して，

$$40 = I + 30$$

$$\therefore\ I = 40 - 30 = 10\,〔A〕$$

閉回路をたどる向きを①，②のように定めると，第２法則より

①では

$$E_1 = 40\times0.1 + 40R_1 + 0.1I$$

②では $E_2 = 30\times0.1 + 30R_2 - 0.1I$

$E_1$，$E_2$ および $I$ の値を代入して，$AB$ 間電圧 $V_{AB}$ および $BC$ 間電圧 $V_{BC}$ は

$$V_{AB} = 40R_1 = E_1 - 40\times0.1 - 0.1I = 105 - 4 - 1 = 100\,〔V〕$$

$$V_{BC} = 30R_2 = E_2 - 30\times0.1 + 0.1I = 105 - 3 + 1 = 103\,〔V〕$$

〔問１－５〕 0.05〔Ω〕の両端に発生する電圧〔V〕は。

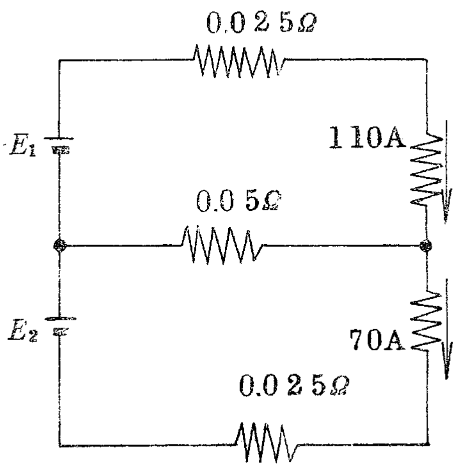



図 問１－５

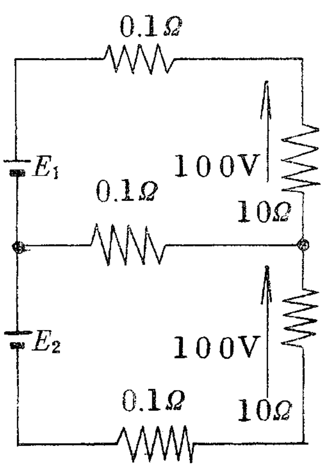



図 問１－６

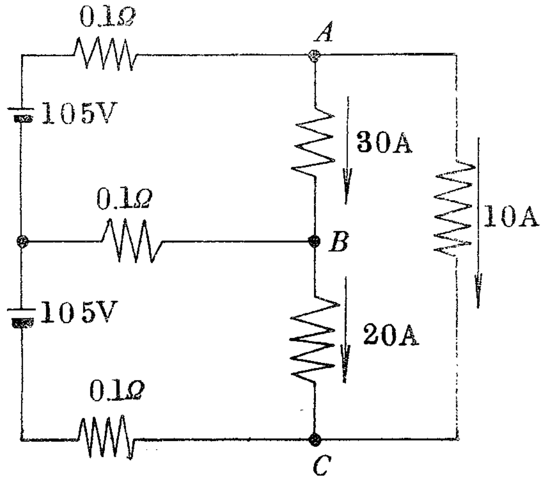



図 問１－７

〔問1－6〕　$E_1$，$E_2$〔V〕は。

〔問1－7〕　$AB$，$BC$ 間電圧〔V〕は。

## 1.5. 抵抗回路

電気回路では，抵抗接続の組み合せにより，種々の回路がつくられている。ここでは，今まで学習してきた基本的な法則，オームの法則，キルヒホッフの法則を利用して，その計算方法について学ぶことにしよう。

### 1.5.1. 直列接続

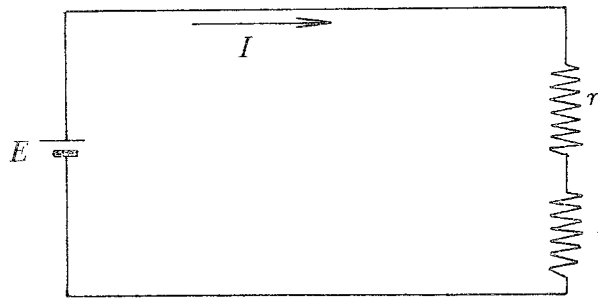
図1－6（a）のような抵抗 $r_1$，$r_2$ の接続を直列接続という。この回路に電圧 $E$ を加えた場合について考えてみる。直列接続で重要なことは $r_1$，$r_2$ に共通の電流 $I$ が流れることで，キルヒホッフ第2法則を用いて，

$$E = I r_1 + I r_2 = I(r_1 + r_2)$$

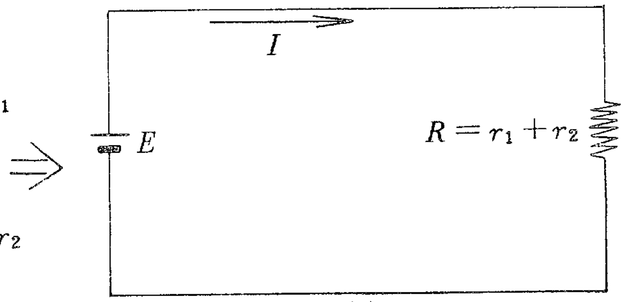
ここで，$r_1 + r_2$ を $R$ で表わすと

$$E = I(r_1 + r_2) = IR \qquad (1-6)$$

となる。この $R$ を $r_1$，$r_2$ の合成抵抗といい，直列接続の合成抵抗は各抵抗の和に等しい。



(a)



(b)

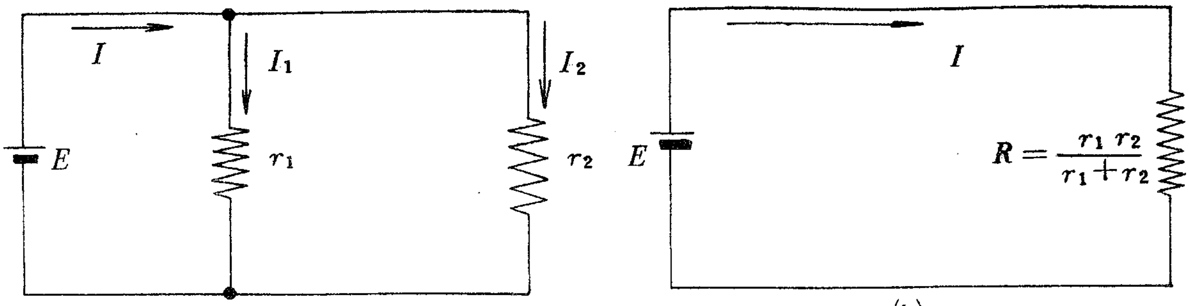
図　1－6

〔問1－8〕　図1－6において

1) $I = 10^A$，$r_1 = 2^{\Omega}$，$r_2 = 8^{\Omega}$ のとき $E$〔V〕および $r_1$，$r_2$ 両端電圧〔V〕は。

2) $r_1 = 2^{\Omega}$，$r_2 = 8^{\Omega}$ のとき，$r_2$ 両端電圧が $40^V$ であった。$I$〔A〕，$E$〔V〕および $r_1$ 両端電圧〔V〕は

3) $E = 200$，$r_1 = 2$，$r_2 = 8$ のとき，$I$〔A〕および $r_1$，$r_2$ 両端電圧〔V〕は。




(a)　　　　　　　　(b)

図　1－7

### 1.5.2.　並列接続

図1－7のような抵抗の接続を並列接続という。並列接続の場合の重要点は，並列になった抵抗には同一電圧 $E$ が加わることである。従って，$r_1$，$r_2$ の電流は

$$I_1 = \frac{E}{r_1} \quad , \qquad I_2 = \frac{E}{r_2}$$

またキルヒホッフ第1法則より $I = I_1 + I_2$ であるので，

$$I = I_1 + I_2 = \frac{E}{r_1} + \frac{E}{r_2} = E\left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}\right) \qquad (1-7)$$

この並列回路の合成抵抗を $R$ とすると，

$$R = \frac{E}{I} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}} \qquad \text{あるいは，} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \qquad (1-8)$$

これより，一般に $n$ 個の抵抗が並列のときは，

$$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \cdots\cdots\cdots + \frac{1}{r_n}} \qquad \text{あるいは，}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \cdots\cdots\cdots + \frac{1}{r_n} \qquad (1-9)$$

特に2個の抵抗の場合は（1－7）式を変形した次の形はよく利用される。

$$R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{2}{r_2}} = \frac{r_1 \, r_2}{r_1 + r_2} \qquad (1-10)$$

次に並列回路の電流 $I_1$ ，$I_2$ はどのように分流するかについて考えてみよう。

$$I_1 = \frac{E}{r_1} \quad , \quad I_2 = \frac{E}{r_2} \qquad 一方 \qquad E = \frac{r_1 \ r_2}{r_1 + r_2} I$$

であるから，これらの式より，$E$を消去して，

$$I_1 = \frac{r_2}{r_1 + r_2} I \qquad I_2 = \frac{r_1}{r_1 + r_2} I \qquad (1-11)$$

となり，電流は各分路の抵抗に反比例して分流することが分る。

〔問１－９〕　図１－７において

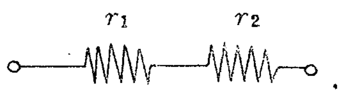
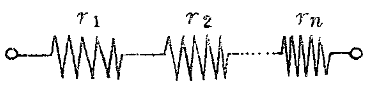
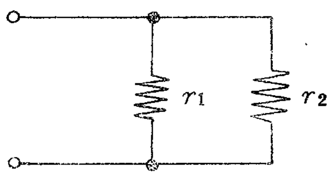
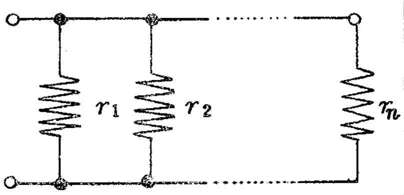
1）$E=12^V$，$r_1=2^\Omega$，$r_2=3^\Omega$ のとき，$I_1$ ，$I_2$ ，$I$〔A〕は。

2）$r_1=2^\Omega$，$r2=3^\Omega$ で $I_1=3^A$ のとき，$E$〔V〕および $I_2$ ，$I$〔A〕は。

3）$I=50^A$，$r_1=2^\Omega$，$r_2=3^\Omega$ のとき，$E$〔V〕および $I_1$ ，$I_2$ 〔A〕は。

こゝで，まとめて抵抗の直列，並列接続の合成抵抗値を表にしておく。

表１－１

| 接続の方法 | | | 合成抵抗計算式 |
|---|---|---|---|
| 直列接続 | 2個 |  | $R = r_1 + r_2$ |
| | $n$個 |  | $R = r_1 + r_2 + \cdots\cdots + r_n$ |
| 並列接続 | 2個 |  | $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}$ または $R = \frac{1}{\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}} = \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2}$ |
| | $n$個 |  | $\frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \cdots\cdots + \frac{1}{r_n}$ |

〔問1－10〕　次の回路の合成抵抗を求めよ。

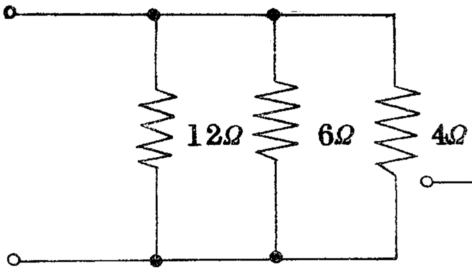



図　問1－10(1)

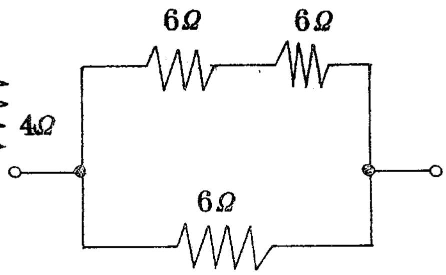



図　問1－10(2)

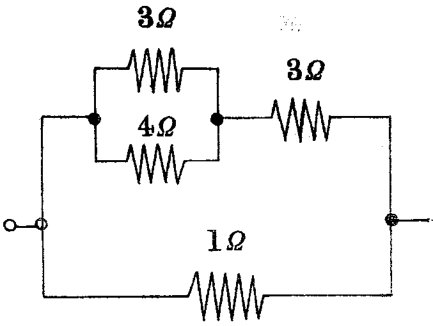



図　問1－10(3)

## 1.6.　電圧降下と電位差

### 1.6.1.　電圧降下

乾電池の電圧を測って1.5 $V$ 近くあっても，豆電球を点灯してみると，明るくならないことがある。また，長い距離の電線路では電気を送る側の電圧に比べて受ける側の電圧は一般に低くなる。これは，電池の内部や電線路には，抵抗 $r$ があるためで，電流 $I$ が流れたとき，$Ir$ の大きさの電圧がそこに使われ，その分だけ負荷の端子電圧が下がるためである。この電圧の下がった分を電圧降下という。

図1－8で無負荷時の電圧を $E$，負荷時の負荷端電圧を $V$，負荷抵抗を $R$ とすると，次式が成り立つ。

$$E = Ir + IR \quad (1\text{-}12)$$

ここで，$IR$ は負荷端電圧 $V$ であるから，電圧降下 $Ir$ は，上式より

$$Ir = E - V \quad (1\text{-}13)$$

となる。

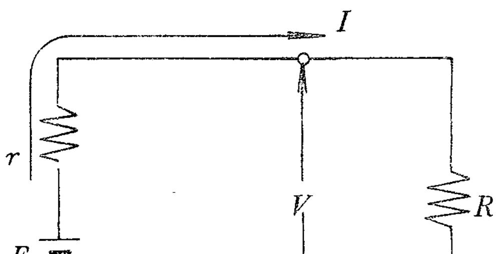



図1－8

〔例1－2〕　起電力（無負荷電圧）$E = 3\,V$ の乾電池に豆電球をつないだところ，0.2 $A$ が流れ，端子電圧 $V = 2^V$ となった。乾電池の内部抵抗 $r$ と豆電球の抵抗 $R$ を求めよ。

〔解〕

$$Ir = E - V \text{ より } \quad r = \frac{E - V}{I} = \frac{3 - 2}{0.2} = 5\Omega,$$

$$V = IR \text{ より } \quad R = \frac{V}{I} = \frac{2}{0.2} = 10\Omega$$

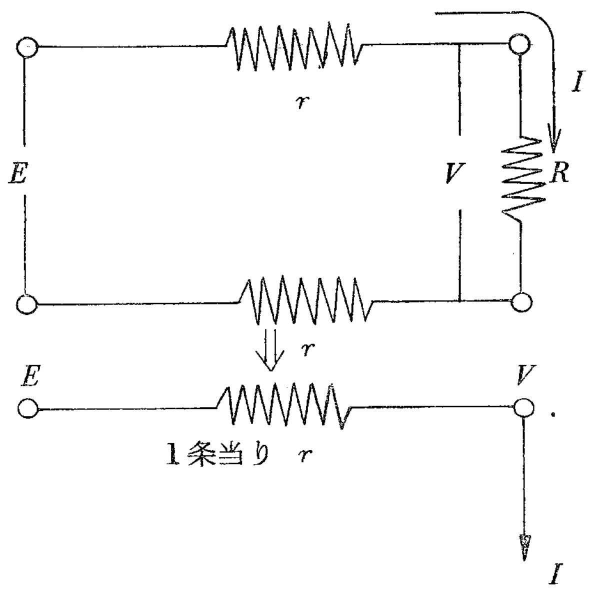
次に電線路の電圧降下について考えてみよう。電線路が比較的短かい場合には，電線の抵抗は小さく，電圧降下は問題とならなかったが，電線路が長くなり，負荷電流も増えると電圧降下が出てくる。また電線路は往復2線あり，その各々に抵抗 $r$ があることに注意せねばならない。よって電池の場合と同様に次式が成立する。

$$E = Ir + IR + Ir = 2Ir + IR \qquad (1-14)$$

ここで，$IR = V$ であるので，電圧降下 $2Ir$ は，

$$2Ir = E - V \qquad (1-15)$$

また，配電線路等は図1－9（b）のような単線図で示すことがある。




(a) 実際図

(b) 単線図

図 1－9

〔例1－3〕 電源電圧102$V$，電源から負荷までの電線の抵抗が1条当り0.1$\Omega$である。これに20$A$の電流が流れたとき，負荷の端子電圧は何$V$か。

〔解〕 電線路の電圧降下は，$2Ir = 2 \times 20 \times 0.1 = 4V$

よって，負荷端電圧は，$V = E - 2Ir = 102 - 4 = 98V$

〔問1－11〕 図の電線路の電源電圧 $EV$ を求めよ。

〔問1－12〕 図の回路で，BB′間，CC′間の電圧〔V〕を求めよ。またこの図を単線図で示せ。

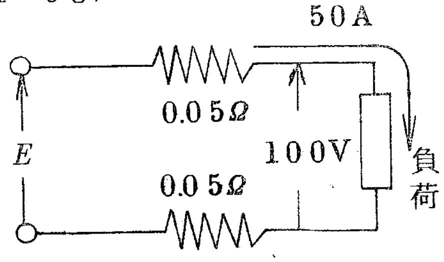



図 問1－11

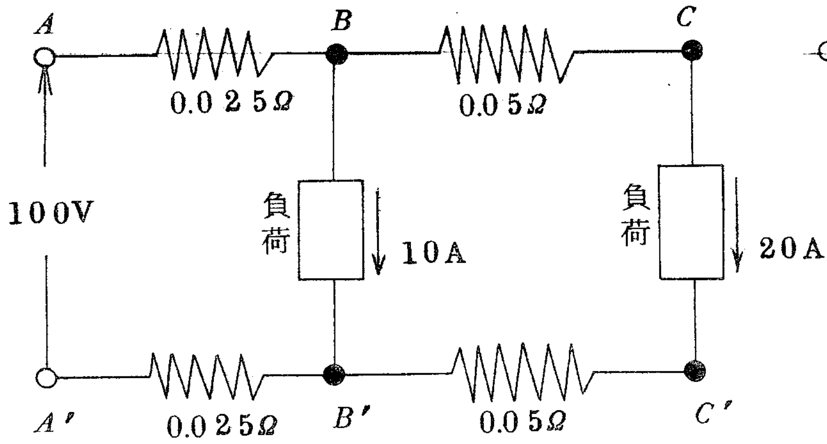



図　問1－12

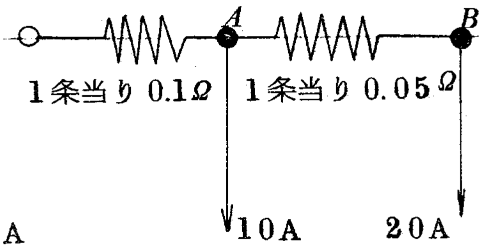



図　問1－13

〔問１－１３〕　図の配電線がある。

(1)　$O$点が１０５$V$のとき，$A$，$B$点は何〔V〕か。

(2)　$B$点が１００$V$のとき，$O$，$A$点は何〔V〕か。

## 1.6.2.　電 位 差

図　1－10

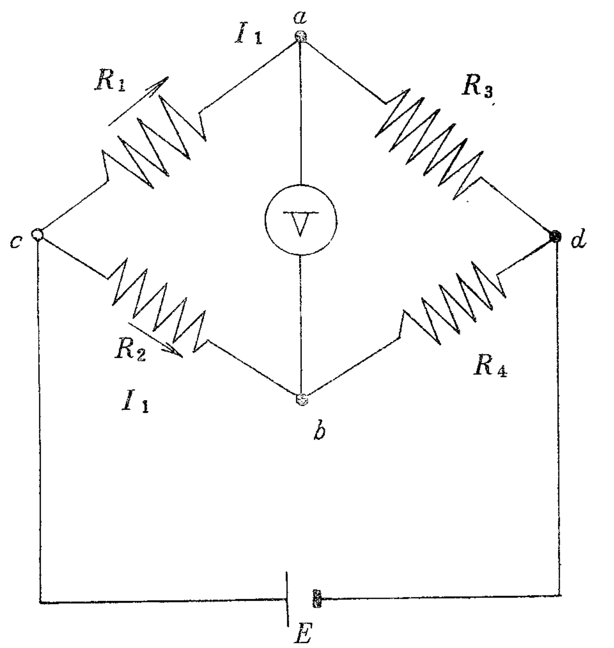



図１－１０の回路に起電力$E$＝２００Vを加えた。　$R_1=R_4=15$ Ω，$R_2=R_3=25$Ωのとき，$R_1$，$R_2$ を流れる電流をそれぞれ$I_1$，$I_2$ とすれば，電圧計Ⓥにはほとんど電流が流れないので，$I_1$は$R_3$を，$I_2$は$R_4$をそれぞれ流れて，

$$I_1=\frac{E}{R_1+R_3}=\frac{200}{15+25}=5A,$$

$$I_2=\frac{E}{R_2+R_4}=\frac{200}{25+15}=5A$$

となる。ここで，$a$点の電圧を$Va$，$b$点電圧を$Vb$とすれば，$Va$は電源電圧より電圧降下$R_1 \cdot I_1$を，$Vb$は$R_2 \cdot I_2$をそれぞれ差し引いたものとなる。

よって，

$$Va=E-R_1\ I_1=200-15\times5=125V$$

$$Vb=E-R_2\ I_2=200-25\times5=\ 75V$$

今，$a$ $b$ 間に電圧計でなく，抵抗を接続すれば，電圧の高い$a$点より，$b$点に向かって，電流が流れる。このように，ある2点間に電流を流させる能力があるとき，この2点間には**電位差**があるという。

従って，もし任意の2点間に電位差が現われなければ，たとえ$a$，$b$ともある電圧値であっても，電流を流す能力はない。

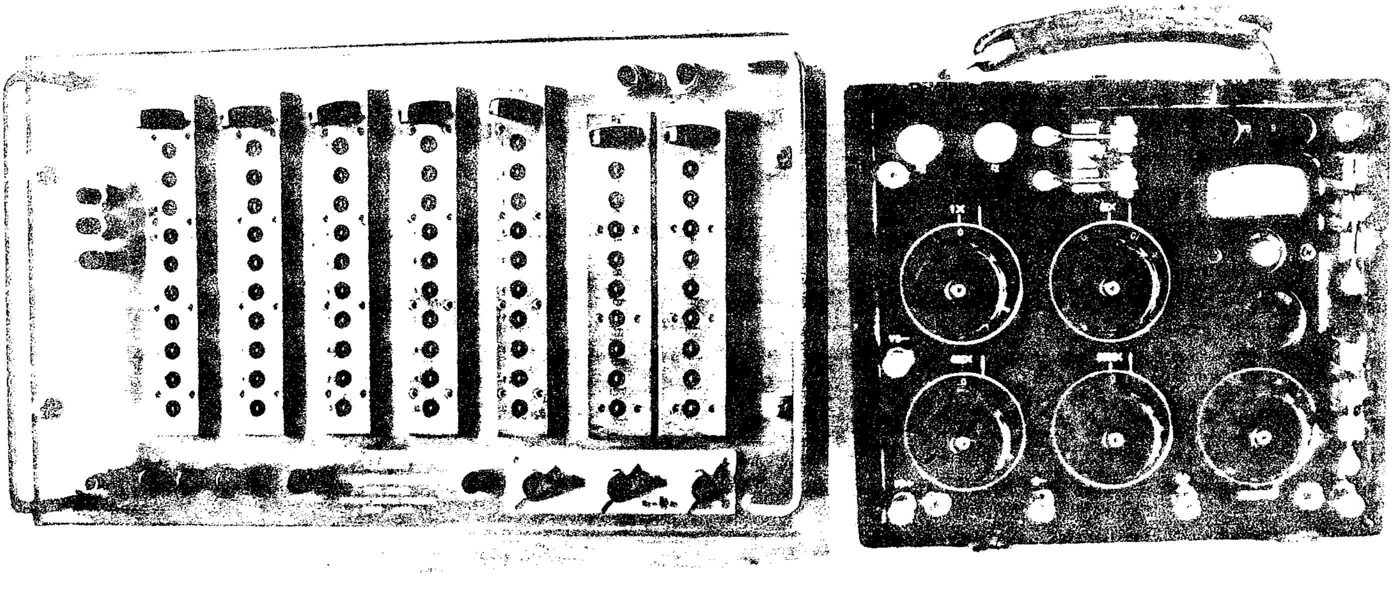
＜応　用＞

電位差がなくなれば，そこには電流が流れない。これを積極的に応用した測定器にホイートストンブリッジがある。これは前図１－１０の回路構成で，電圧計Ⓥの代りに検流計Ⓖを接続したものである。検流計は微小電流に感じて電流の有無を示す計器で，この検流計が零を示せば$a$ $b$間には電位差はない。それ故ホイートストンブリッジは中抵抗の精密測定に用いられる。4個の抵抗のうち，例えば，$R_4$ を加減して，検流計$G$の振れが零になったとき，ブリッジが平衡したという。したがって，$a$と$b$との間には電位差がなくなり，次式が成り立つ。

$$I_1 R_1 = I_2 R_2 , \qquad I_1 R_3 = I_2 R_4$$

したがって

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad \text{あるいは} \quad R_1 R_4 = R_2 R_3 \qquad (1\text{-}16)$$



ここで，$R_1$，$R_2$，$R_3$ の値がわかれば，未知抵抗 $R_4$ を測定することが出来る。

図１－１１にホイートストンブリッジの外観を示す。（ａ），（ｂ）ともホイートストンブリッジを用いた実用測定器である。

〔問１－１４〕　図１－１２の回路でスイッチ $S$ を閉じても検流計Ⓖの指示が零であるとき，抵抗 $R_4$ の値（Ω）は。

〔問１－１５〕　前図の $R_1=5\Omega$，$R_2=3\Omega$，$R_3=10\Omega$ として，スイッチ $S$ を閉じても開いてもⒼの指示が零であるための抵抗 $R_4$ の値（Ω）は。

〔問１－１６〕　前図で $R_1=R_2=R_3=R_4=2\Omega$ のときⒼの指示が零になる。このとき電池から流出する電流 $I$ の値（Ａ）は。

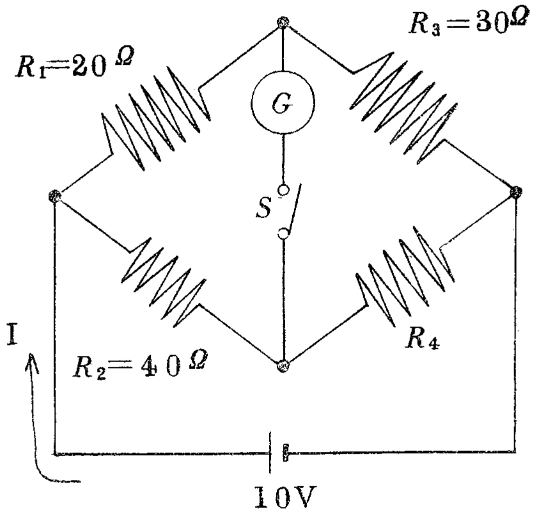


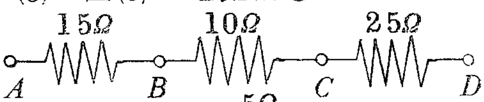
図1−12

## 練　習　問　題

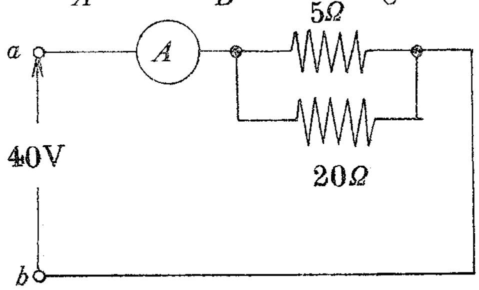
(1)　図(1)の回路に１００Ｖを加えたとき $BC$ 間の電圧〔Ｖ〕は。

(2)　$a$，$b$ 間に４０Ｖの電圧を加えたとき。電流計の指示〔Ａ〕は。

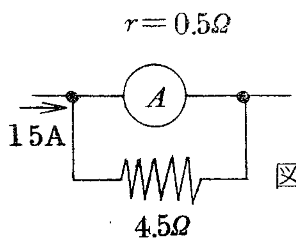
(3)　図(3)で電流計Ⓐの指示〔Ａ〕は。ただし，$r$ はⒶの内部抵抗である。



図(1)

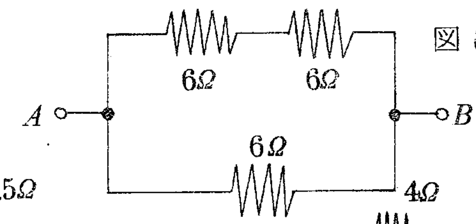


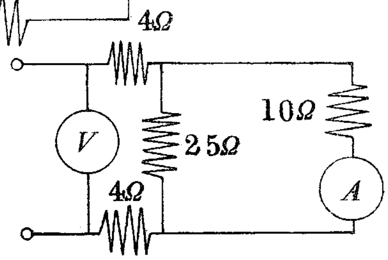
図(2)



図(3)

図(5)




(4)　図(4)で電流計Ⓐが５Ａを指示した。電圧計Ⓥは何ボルトを示すか。　図(4)

(5)　図(5)の回路で $AB$ からみた合成抵抗（Ω）はいくらか。

(6)　図(6)の $Rx$ の値（Ω）はいくらか。ただし，$r$ は電流計Ⓐの内部抵抗で，

Ⓐは１５A，電圧計Ⓥは９６Vを示している。

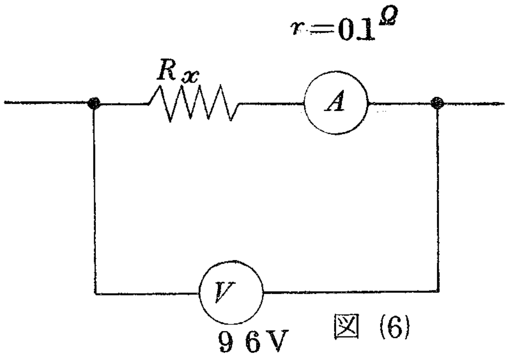



図 (6)

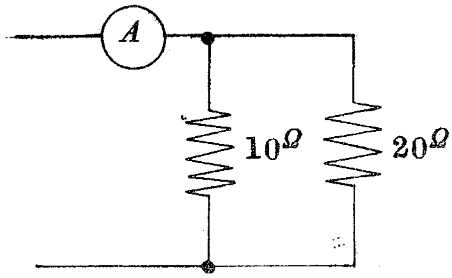



図 (7)

(7)　図(7)で電流計Ⓐが６０Aを示した。２０Ωの抵抗に流れる電流（A）は。

(8)　図(8)の回路で，$a$ $b$ 間に１００Vを加え，スイッチ $S$ を閉じたときに流れる電流は，$S$ を開いたときに流れる電流の何倍か。

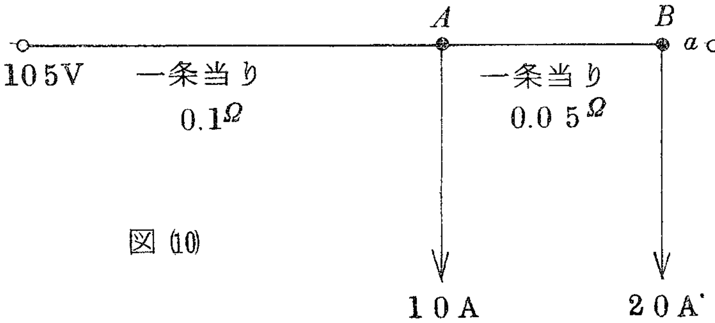



図 (10)

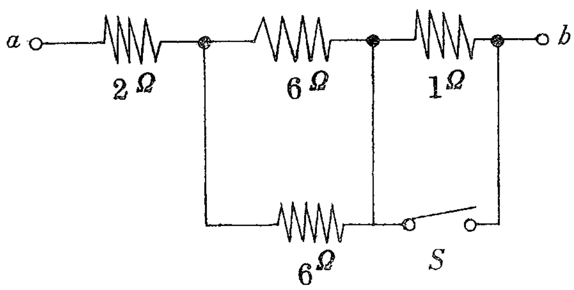
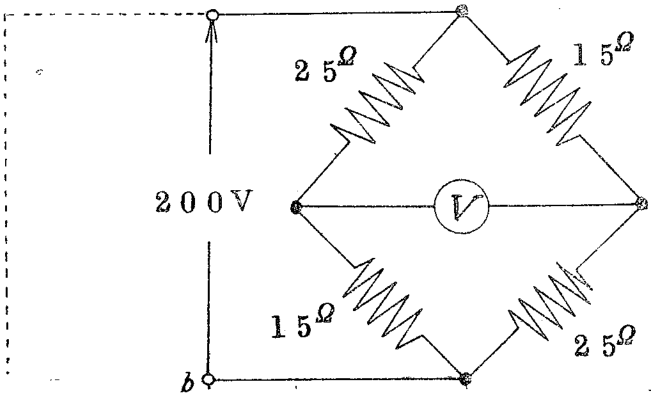



図 (8)

(9)　負荷を接続した単相２線式回路で，電線一条当りの抵抗を0.5Ω，負荷電流を５０A，負荷の端子電圧を１００Vとすれば，引込口の電圧は何（V）か。

(10)　図(10)に示すような単線図で示される配電線路がある。いま引込口の電圧が１０５Vのとき，$A$ 点，$B$ 点の電圧は各々何（V）か。




(11)　図(11)の回路で，$a$ $b$ 端に２００Vを加えると電圧計Ⓥの指示（V）はいくらか。

図 (11)

(12)　図１－１２の回路で，$R_1=100\Omega$，$R_2=1\Omega$，$R_3=870\Omega$ のとき検流計 $G$ の振れが０になった。$R_4$ の値を求めよ。

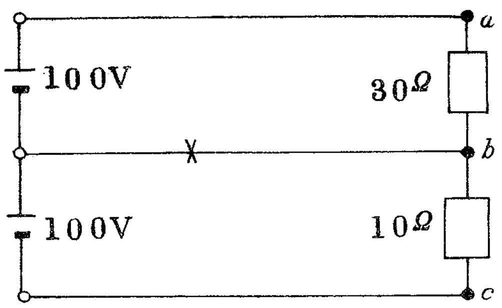



図 (14)

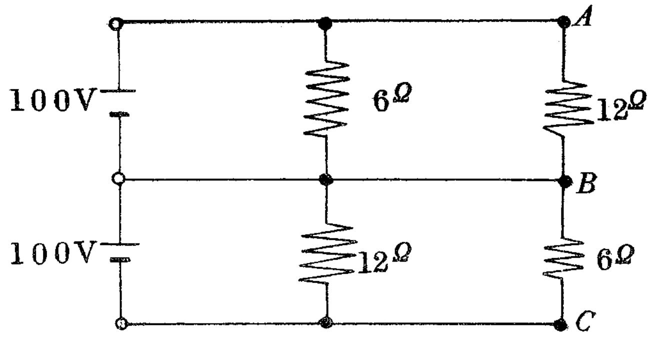



図 (15)

(13) 図１－１２の回路で，$R_1$ ＝１０Ω，$R_2$＝１００Ω，$R_3$＝２３４Ω で回路が平衡した。未知抵抗は何Ω か。

(14) 図(14)の回路で，中性線が×印で断線した。$ab$，$bc$ 間の電圧は何ボルトか。

(15) 図(15)の回路で×印で断線した $AB$，$BC$ 間電圧は何ボルトか。